DOI:10.11931/guihaia.gxzw201802020

新疆石人沟山区岩面生地衣分布格局的环境解释

阿衣努尔·吐送，阿不都拉·阿巴斯，艾尼瓦尔·吐米尔*

（新疆大学生命科学与技术学院， 乌鲁木齐 830046）

摘要：地衣作为真菌和绿藻/蓝绿藻的成功共生体，广泛的分布在陆地生态中的各种栖息地。岩面生地衣作为陆地生态系统的主要组成部分，在干旱和半干旱地区陆地食物链中具有重要地位，同时对岩石的生物腐蚀和土壤的形成有重要的作用。岩面生地衣的多样性和分布格局强烈地受到海拔、湿度、温度、降水量、太阳辐射强度和基物的特征（岩石类型、岩石大小、岩石的化学成分和营养成分）等多种因素的影响。虽然在干旱地区岩面生地衣是陆地生态系统的重要组成部分，但有关气候因素对中国新疆乌鲁木齐县石人沟山区岩面生地衣群落物种分布的影响方面还没有足够的研究报道。因此，本研究在乌鲁木齐县石人沟山区设立 16 个样地，计测样地中岩面生地衣的盖度，包括坡度、坡向、光照强度等 7 个环境因子。采用典范对应分析法（CCA）对各群落的物种分布格局与环境因子的关系进行了探讨。研究结果表明：石人沟山区的岩面生地衣共有 27 种，隶属于 7 目、9 科、15 属。其中，黄枝衣目、茶渍目和鸡皮衣目的种类较多，占该地区岩面生地衣总数的 74.07%。CCA 排序结果表明，坡度、坡向、光照强度、湿度、岩石 pH 值是 5 个影响岩面生地衣种类分布格局的主要环境因子，并显示了岩面生地衣与样地间的对应性。

关键词：石人沟，岩面生地衣，环境因子，典范对应分析

中图分类号：Q948.11　　　　文献标识码：A

Environmental interpretation of saxicolous lichen distribution pattern in Shirengou mountains, Xinjiang, China

TURSUN Aynur, ABBAS Abdulla, TUMUR Anwar*

（*College of Life Sciences and Technology, Xinjiang University*, Urumqi 830046, China）

Abstract: Lichens, one of the most successful symbiotic associations of a fungus, a green and/ or blue green alga, are known to inhabit nearly all the terrestrial domains of the planet. As the main component of the terrestrial ecosystem, saxicolous lichens play a pivotal role in the terrestrial food chain of arid and semiarid regions and covering rock outcrops play an important role in rock weathering and soil formation. The diversity and distribution pattern of saxicolous lichens are strongly influenced by environmental variables such as elevation, moisture, temperature, precipitation, exposure to radiation and substrate attributes (*i.e.* rock types, nutrients, and rock chemistry). Although saxicolous lichens are important components of arid ecosystems, the influence of microclimate factors conductive to their distribution on rock habitats in the Shirengou mountains in Urumqi County, Xinjiang, China are still not sufficiently investigated. In order to better understand the saxicolous lichens distribution pattern and identify the mechanisms that govern community assemblage and structure, in this paper 16 plots were sampled and coverage of lichen species, together with 7 environmental variables including slop, aspect, light intensity were obtained in Shirengou mountain, Urumqi county, China. The relationship between species distribution of saxicolous lichen and seven different environmental factors was studied by canonical

---

基金项目：国家自然科学基金项目（31660009, 31670023）[Supported by National Natural Sciences Foundation of China （31660009, 31670023）]。

作者简介：阿衣努尔·吐送（1992-），女（维吾尔族），新疆库车县，硕士研究生，主要从事地衣系统分类及生态学研究，(Email)474852120@qq.com。

***通信作者：**艾尼瓦尔·吐米尔，博士，教授，主要从事地衣生态学的研究，(E-mail) anwartumursk @xju. edu.cn。

correspondence analysis (CCA). The results shows that, 27 saxicolous lichens species belong to 15 genera, 9 families and 7 order were recorded, the most frequently order were Teloschistales, Lecanorales and Pertusariales (74.07% of the total number of species). CCA ordination result showed that slope, aspect, rock pH and light intensity are the five major environmental factors influencing the distributional patterns of the saxicolous lichen species. It also shows the correspondence between saxicolous lichens and sampling plots.

Key words: Shirengou, saxicolous lichens, environmental factors, correspondence canonical analysis

岩面生地衣作为干旱地区干旱和半干旱陆地生态系统的主要成员之一，在食物链中促进物质循环、提供营养物质和有机物方面起关键作用。同时，岩面生地衣首先定居在裸露而环境恶劣的岩石上形成群落，通过次生代谢物质腐蚀岩石逐渐形成土壤，并改变栖息地微环境，为其他植物种类的侵入、定居，植物群落的形成以及植物群落的演替等提供条件（Brodo，1973；John，1990；John & Dale , 1990；Eldridge & Tozer，1997；Torbjørg, 2003；Kumar et al，2012，2014）。一般基物的结构（种类、粗糙度、硬度、相对稳定性、表面特性）、水分的关系（含水量，保持水分的能力）和化学特征（元素的种类、含量；pH 值等）是影响地衣分布的三大要素（Brodo，1973）。对于岩生地衣而言，岩面生地衣的定居和地衣群落的形成过程不仅受到当地气候的影响，而且依赖于地衣生长基物的理化特征的限制（Brodo，1973）。岩面生地衣不仅通过物理作用把菌丝体侵入到基物内部，而且通过呼吸和产生有机化合物等化学作用腐蚀岩石，释放出基物中的离子。这些元素被地衣体吸收或螯合成生物矿物质后被加入到养分库中。如果这些化学元素被作为养分时，其含量的不足影响真菌繁殖结构的发育，因此岩石的地质化学和矿物质成分对岩面生地衣种类的出现以及群落的组成方面起着重要的作用（Rajakaruna et al, 2012；Deduke et al, 2016）。已有的文献显示，岩石的大小、岩石的坡度、坡向、化学性质、裸露度、雪的覆盖、岩石的 pH 值、岩石的种类等因素影响岩面生地衣群落结构和种类组成（Chen & Hanse-Peter, 2002； Shimizu , 2004；Favero- Longo et al, 2011；MacDonald et al, 2011；Rajakaruna et al, 2012；Kumar et al，2012，2014）。Brodo（1973）报道一般喜钙的地衣种类分布在含钙量较高的石灰岩；喜硅的地衣种类分布在含硅量高的燧石和黑硅石。他对研究北美岩面生地衣时发现，表面粗糙的岩石地衣的种类及多样性多于表面光滑的岩石（Brodo，1973）。Werner （1956）在研究不同类型岩石的 pH 值和二氧化硅浓度与地衣种类之间的关系时发现，地衣物种组成与多样性受岩石化学特性的影响。Temina et al（2015）在以色列的 Negev Desert 地区研究燧石和石灰岩的地衣群落时发现，岩石表面露水的保持时间的长短是影响地衣种类分布的主要因素。Foder （2015）在 Măcin Mountains 研究岩面生地衣群落时发现，研究地区的放牧和家畜的排泄物导致酸性岩石的氮富集能力的提高，从而降低了岩面生地衣多样性及其种类的覆盖度。Deduke et al（2016）研究岩石的化学成分对岩面生地衣群落的影响以及对 *Arctoparmelia centrifuga*, *Xanthoparmelia viriduloumbrina* 和 *X.cumberlandia* 等三种岩面生叶状地衣繁殖率的影响是发现，基物中的有些化学元素和地衣的繁殖率之间存在正相关关系。Shukla et al（2017）的研究显示，在喜马拉雅地区分布在不同海拔的岩面生地衣体内的次生代谢物质的种类具有显著性差异，说明随着海拔高度，湿度、光照、温度、岩石种类的变化导致地衣体内的次生代谢物多样性的变化。

国内有关岩面生地衣群落方面的研究较少，艾尼瓦尔•吐米尔和阿不都拉•阿巴斯（2009，2015）；艾尼瓦尔•吐米尔等（2015，2018）用植物群落定量研究方法，运用聚类分析、主成分分析、除趋势对应分析、双向指示种分析等方法对乌鲁木齐南部山区、阿尔泰山两河源自然保护区、托木尔峰国家级自然保护区和博格达山区的岩面生地衣群落进行数值分类，并采用典范对应分析方法对岩面生地衣群落物种分布格局与环境因子间的关系进行了研究。结果发现，岩面生地衣群落的结构随着海拔高度发生变化，物种组成主要受到植被盖度、岩石种类、坡度、坡向、风速、风蚀程、光照较强、岩面 pH 值和相对湿度的影响。因此，研究乌鲁木齐县石人沟山区岩面生地衣群落与基物间的关系，对进一步确定影响岩面

生地衣分布格局的环境因子，有效保护干旱和半干旱地区地衣物种多样性，发挥地衣在陆地生态系统的生态功能等方面具有重要理论和实际研究意义。

1　研究地区概况

石人沟山区位于天山中段北部，准葛尔盆地南部，地处 87°50′ E ，43°45′ N，该地区的自然概况见文献（乌鲁木齐县地方志编写委员会编，2006；艾尼瓦尔•吐米尔等，2017）。

2　研究方法

2.1　野外调查

在乌鲁木齐县石人沟的不同景观随机设置样地 16 个（50 m × 50 m），在每个样地内，以样方法调查 3～5 个样点，每个样点调查 20 个样方（样方大小为 50 cm ×50 cm），样方间隔 2 m。每个样方中岩面生地衣种类的盖度用网格法测定，以地衣在样方中的平均盖度作为样点的盖度（John，1990；艾尼瓦尔•吐米尔和阿不都拉•阿巴斯，2009，2015；艾尼瓦尔•吐米尔等，2017）。同时对各样地的岩石大小、坡度、坡向、光照强度、人为干扰、岩石的 pH、湿度等环境因子进行了计测（表 1）（艾尼瓦尔•吐米尔等，2015，2017）。

表 1 16 个样地 7 种环境因子

Table 1 Seven environmental factors in 16 sites

样地 Sites	岩石大小 Rock size (cm)	坡度 Slope	坡向 Aspect	光照强度 Light intensity	人为干扰 Disturbance	pH 值 pH	湿度 Humidity
1	120	35°	西北向 NW	5	5	7.24	1
2	87.6	27°	南向 S	5	5	6.54	1
3	183	42°	东南向 SE	5	4	7.21	1
4	250	20°	北向 N	4	4	6.87	2
5	158	35°	西北向 NW	4	4	6.69	1
6	76	18°	西南向 SW	4	3	7.25	2
7	93	37°	南向 S	4	3	7.86	1
8	104	42°	南向 S	3	3	6.25	2
9	115	33°	西北向 NW	3	2	6.54	2
10	65.8	27°	东南向 SE	3	2	5.85	1
11	170	24°	西南向 SW	4	2	7.25	2
12	157	47°	北向 N	4	1	7.68	2
13	124	33°	东北向 NE	5	1	6.98	1
14	98.4	15°	西南向 SW	5	-	7.05	1
15	86	25°	西南向 SW	5	-	7.78	1
16	217	40°	南向 S	5	-	7.54	1

注：湿度(5= ≥50%、4= 40%～49%、3= 30%～39%、2= 10%～29%、1= ≤10%；光照强度(1= 弱、2= 较弱、3= 中等、4= 较强、5= 强)；人为干扰(1= 弱、2= 较弱、3= 中等、4= 较强、5= 强)。NW. 西北 S. 南；SE. 东南；SW. 西南；N. 北

Notes： Humidity(5= ≥50%、4= 40%～49%、3= 30%～39%、2= 10%～29%、1= ≤10%; Light intensity (1= low、2= weak、3=medium、4= relatively strong、5= intense；Disturbance（1= low、2= weak、3=medium、4= relatively strong、5= intense）。NW. Northwest； S. South；SE. Southeast；SW. Southwest；N. North

2.2 数据分析

应用典范对应分析（Canonical Correspondence Analysis, CCA）时，以岩面生地衣为分析对象，样地内的盖度为指标，环境因子以最大值法进行标准化处理，地衣的盖度使用开平方

处理。应用国际标准生态学软件 CANOCO for Windows 4.5 进行数据运算，应用 CANODRAW4.5 对运算结果制图，岩面生地衣分布与环境因子关系应用二维排序进行表达（John，1990; John & Dale, 1990; 艾尼瓦尔·吐米尔和阿不都拉. 阿巴斯，2009; 艾尼瓦尔·吐米尔等，2017）。

3 结果与分析

3.1 岩面生地衣物种多样性

本研究共鉴定出研究区域内的岩面生地衣 27 种，隶属于 9 科、15 属(表 2)。

表 2 乌鲁木齐县石人沟岩面生地衣种类组成

Table 2 Saxicolous lichens species in Shiren Gou, Urumqi County

科属种名 Name of the family, genus and species	缩写 Abbr	盖度 Coverage (%)	频度 Frequency
微孢衣科 Acarosporaceae			
微孢衣属 *Acarospora*			
被膜微孢衣 *A. molybdina*	*Aca mol*	1.257	15
丛生微孢衣 *A. veronensis*	*Aca ver*	3.257	20
疣微孢衣 *A. verruculosa*	*Aca verr*	3.579	30
黄烛衣科 Candelariaceae			
黄茶渍属 *Candelariella*			
油黄茶渍 *C. oleifera*	*Can ole*	3.634	15
茶渍科 Lecanoraceae			
茶渍属 *Lecanora*			
碎茶渍 *L. argopholis*	*Lec arg*	6.567	25
墙茶渍 *L.muralis*	*Lec mur*	0.528	20
小网衣属 *Lecedella*			
破小网衣 *L. carpathica*	*Lec car*	0.729	15
平小网衣 *L. sigmatea*	*Lec sig*	0.354	15
脐鳞衣属 *Rhizoplaca*			
盾脐鳞衣 *R. peltata*	*Rhi pel*	3.324	20
梅衣科 Parmeliaceae			
褐梅属 *Melanelia*			
托敏氏褐梅 *M. tominii*	*Mel tom*	4.558	45
胶衣科 Collemataceae			
胶衣属 *Collema*			
墨绿胶衣 *C. fuscovirens*	*Col fus*	1.857	15
巨孢衣科 Megasporaceae			
平茶渍属 *Aspicilia*			
亚洲平茶渍 *A. asiatica*	*Asp asi*	0.964	75
A. calcarea	*Asp cal*	2.548	47
灰平茶渍 *A. cinerea*	*Asp cin*	1.847	65
北平茶渍 *A. contorta*	*Asp con*	0.135	30
赭白平茶渍 *A. ochraceoalba*	*Asp och*	0.687	15
裂片茶渍属 *Lobothallia*			
粉盘裂片茶渍 *L. alphoplaca*	*Lob alp*	0.744	5
蜈蚣衣科 Physciaceae			

鳞饼衣属 *Dimelaena*			
鳞饼衣 *D. oreina*	*Dim ore*	0.757	60
黑蜈蚣衣属 *Phaeophyscia*			
暗裂牙黑蜈蚣衣 *P. sciastra*	*Pha sci*	3.396	5
蜈蚣衣属 *Physcia*			
蓝灰蜈蚣衣 *P. caesia*	*Phy cae*	2.348	40
黄枝衣科 Teloschistaceae			
橙衣属 *Caloplaca*			
小蜡盘橙衣 *C. biatorina*	*Cal bia*	0.124	15
石黄衣属 *Xanthoria*			
丽石黄衣 *X. elegans*	*Xan ele*	1.571	30
裂片石黄衣 *X. lobulata*	*Xan lob*	2.245	10
石黄衣 *X. parietina*	*Xan par*	0.757	20
粉芽石黄衣 *X. serediata*	*Xan sor*	4.725	42
瓶口衣科 Verrucariaceae			
皮果衣属 *Dermatocarpon*			
皮果衣 *D .miniatum*	*Der min*	6.572	55
短绒皮果衣 *D. vellereum*	*Der vel*	2.534	35

注明：地衣拉丁学名缩写时，我们用属名和学名的前 3 个英文字母。

Notes: Abbreviation of species name used to first three English letters of genus and species name

从表 1 可知，石人沟地区岩面生地衣区系中黄枝衣目(Teloschistales)地衣共有 8 种，隶属于 5 属、2 科；分别占该地区岩面生地衣科属种总数的 22.22%、35.71% 和 29.63%。其次为茶渍目(Lecanorales)和鸡皮衣目(Pertusariales)各有 6 种；微孢衣目(Acarosporales)、瓶口衣目(Verrucariales)、地卷目(Peltigerales)和黄茶渍目(Candelariales)的种类较少。

3.2　环境因子间的相关性及其对地衣种类分布的影响

以样地作为分类对象，地衣盖度为指标（表 3）进行 CCA 运算得到排序图（图 1 和图 2）。排序图中，前两个排序轴的特征值分别为 0.638，0.491，环境因子轴与种类排序轴之间的相关系数分别高达 0.965，0.947，说明排序能较好地反映种类与环境因子间的关系。

表 3 27 种地衣在 16 个样地中的覆盖度

Table 3 Coverage of 27 lichens species in 16 sites (%)

种类 Species	样点 Sites (1～16)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	0.615	0	0	0	0.565	0.22	0.176
3	1.243	0	0	1.18	1.156	0	0	0
4	0.048	0	0.036	0.013	1.055	0	2.07	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0. 622
6	0	0	0	0	0	0.105	0	0. 203
7	0.348	0	0.02	0.029	0	0	0.123	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0.308	0	0.215	0	1.04	0	0	0
10	0.028	0	0.032	0	0	0	0.043	0
11	0	0.214	0	0	0	0	0	0.213
12	0	0	0	0	0	0.231	0	0

13	0	0.321	0	0	0	0	0	0. 109
14	1.089	0	0.023	0.018	0.01	0	2.654	0
15	0	0	0	1.541	0	0	0	0
16	0	0.614	0	0	0	0.915	0	0.62
17	0	0	0	0	0	0	0	1.239
18	0	0	0	0	0	0	0	0.115
19	0	0	0	0	0.01	0	0	0
20	0.506	0.192	0.01	0.271	0.812	0	0.023	0
21	0	0	0	0	0	0.02	0	1.015
22	2.07	0	0. 204	0. 608	1. 305	0	0.237	0
23	0	0	0	0	0	0	0	2.001
24	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0.211	0	0	0	0.413	1.23	0
26	1.271	5.675	0.032	0.039	0	0.02	0	1.909
27	0	0	0	0	0	0	0	0

续表 2

种类 Species	样点 Sites (1～16)							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	0	0	0.331	0.215	0	0.025	0.313
2	1.239	0.203	0	0.243	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0.544
5	0	0.022	0	0	0.315	0	6.04	0.325
6	3.07	0.014	0	0	0	0	0	0.522
7	0	0	0	0.029	0	0	0	0
8	0	0.143	0.02	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0.239	0	0	0
11	1.448	0.315	0.036	0.183	0	0	0	0
12	0	0	0.092	0.129	0	0	0.608	0.135
13	0.02	0.016	0	0	0.524	0	0	0.213
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0.026	0.023	0.041	0	0	4.01	0.25
16	0.03	0.213	0.023	0	0	0	0	0
17	0	0.072	0	0.017	0.234	0.215	0	0.189
18	0	0	0	0.411	0	0	0.328	0
19	0.023	0.01	0.203	0	0.892	0	2.123	0
20	0	0	0	0	3.072	0	0.143	0
21	0	2.001	0	0.054	0	0	0.054	0
22	0	0	0.064	0.562	0	0	0.623	0
23	0.081	0.035	0	0	0	0	0	0.541
24	0	0	0	0	0	0.523	0.532	0
25	0	0	0.054	0.541	0.014	0	0	0
26	0.032	0.043	0	0	0	0	0	0.769
27	0	0	0	0.114	0.133	0.032	0.926	3.042

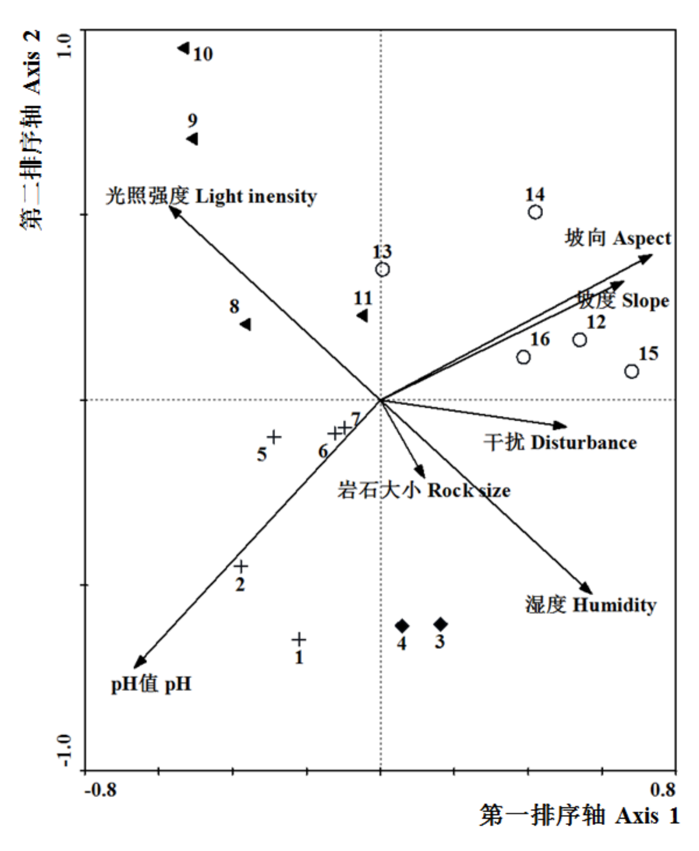


图 1 16 个样地与 7 种环境因子关系的 CCA 排序图

Fig. 1 CCA revealing the relationship of the sixteen sampling sites with seven environmental factors

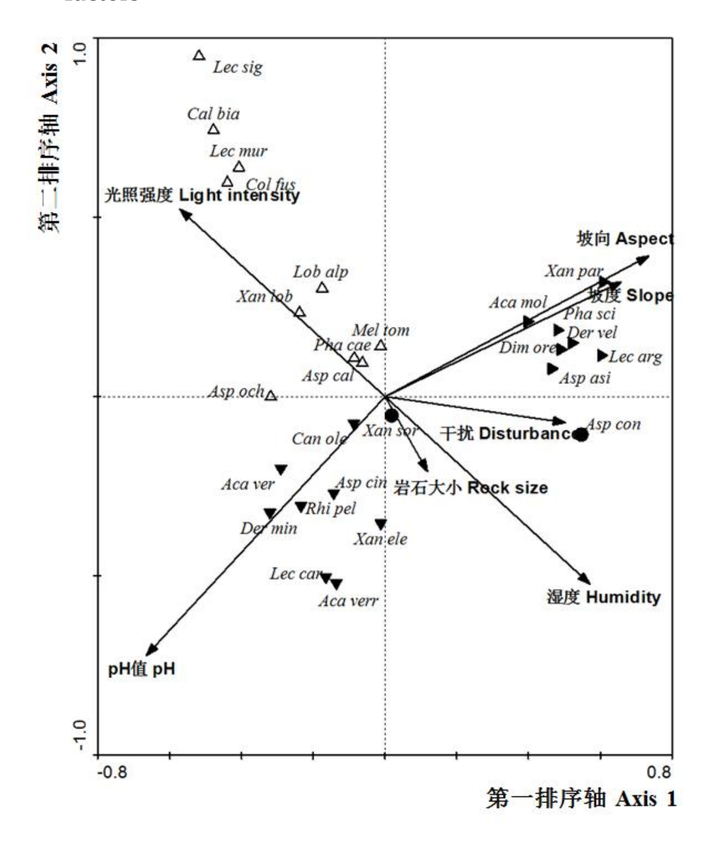


图 2 27 种岩面生地衣种分布与 7 种环境因子关系的 CCA 排序图

Fig. 2 CCA revealing the relationship of the twenty-seven saxicolous lichen species with seven environmental factors

在 CCA 排序图中，环境因子用箭头连线表示，连线的长短表示地衣种类分布与该环境因子关系的大小，箭头连线与排序轴的夹角表示该环境因子与排序轴相关性的大小，箭头所指的方向表示该环境因子的变化趋势。垂直线与环境因子连线相交点离箭头越近，表示该种与该类生境因子的正相关性越大，处于另一端的则表示与该类环境因子具有的负相关性越大（郭水良等，2002）。7 种环境因子间的相关系数以及它们与种类第一、第二排序轴的相关系数见表 4。7 个环境因子中，坡向与第一排序轴关系最大（r=0.7092），其次为坡度（r=0.6354）和湿度（r = 0.4736），与光照强度具有负相关关系（r=−0.4513）。说明第一排序轴主要反映了岩面生地衣种类在坡向、坡度、湿度和光照梯度上的变化。与第二排序轴关系最大的为光照强度（r= 0.5957），其次为湿度（r=－0.4687）和 pH 值（r= −0.4461）为负相关，同时坡向和坡度对第二排序轴也有一定的影响，说明第二排序轴主要反映的是岩面生地衣种类对光照、岩石酸碱度的适应及坡度、坡向上的变化。从排序图上可以发现，光照强度、坡度、坡向对石人沟地区岩面生地衣种类分布有重要影响，其次是湿度、岩石 pH 值，而岩石大小和人为干扰的影响相对较小。

表 4　前 2 个排序轴和 7 个环境因子间的相关系数

Table 4　Correlation coefficients of seven environmental variables with the first two axes of CCA

	物种第一排序轴 SP AX1	物种第二排序轴 SPAX2	岩石大小 Rock size	坡度 Slope	坡向 Aspect	光照强度 Light intensity	干扰 Disturbance	pH 值 pH value
物种第二排序 SPAX2	-0.011 4							
岩石大小 Rock size	0.114 6	-0.198 6						
坡度 Slope	0.635 4	0.303 5	0.258 3					
坡向 Aspect	0.709 2	0.372 1	-0.196 9	0.317 6				
光照强度 Light intensity	-0.451 3	0.595 7	0.066 7	0.415	-0.002 6			
干扰 Disturbance	0.201 8	-0.384 6	-0.009 7	-0.739 2	-0.681 3	-0.026 3		
pH 值 pH value	-0.285 4	-0.446 1	-0.062 1	0.434 1	0.367 3	0.049 3	-0.314 1	
湿度 Humidity	0.473 6	-0.468 7	-0.066 7	-0.415	0.002 6	-0.057 8	0.026 3	-0.049 3

3.3　岩面生地衣分布与环境因子间的相关性

CCA 排序图 1 和图 2 反映了 16 个样地和 27 种岩面生地衣种分布与 7 种环境因子间的关系。沿第一排序轴，样地 12 至样地 16 分布在第一象限，包括 7 个岩面生地衣种，其中石黄衣 *X.parietina*、被膜微孢衣 *A.molybdina* 和暗裂牙黑蜈蚣衣 *Ph.sciastra* 的分布与坡度、坡向有关；短绒皮果衣 *D.vellereum*、 鳞饼衣 *D.oreina*、碎茶渍 *L.argopholis*、亚洲平茶渍 *A. asiatica* 等种类的分布在一定程度上受到人为干扰的影响，岩石 pH 值对这些地衣种类分布的影响不大。第二象限包括样地 8 至样地 11，共有 10 个种。其中平小网衣 *L.sigmatea*、小蜡盘橙衣 *C.biatorina*、墙茶渍 *L.muralis*、墨绿胶衣 *C.fuscovirens* 分布在光照较强，湿度较低、人为干扰较少而比较小的岩石。粉盘裂片茶渍 *L.alphoplaca*、裂片石黄衣 *X.lobulata*、托敏氏褐梅 *M.tominii*、蓝灰蜈蚣衣 *Ph.caesia*、*A.calcarea*、赭白平茶渍 *A.ochraceoalba* 等种类分布在光照适中、坡度小，湿度低的中小岩石。在第三象限，分布在样地 1、样地 2、样地 5 至样地 7 的岩面生地衣种有油黄茶渍 *C.oleifera*、丛生微孢衣 *A.veronensis*、灰平茶渍 *A.cinerea*、盾脐鳞衣 *Rh.peltata*、皮果衣 *D.miniatum*、破小网衣 *L.carpathica*、丽石黄衣

X.elegans、疣微孢衣 *A.verruculosa* 等 8 个物种。该象限的地衣种类的分布受到岩石 pH 值的影响，其中疣微孢衣、破小网衣、盾脐鳞衣分布在 pH 中等的岩石上，很少受到坡度、坡向、岩石大小和人为干扰的影响。在第四象限，北平茶渍 *A.contorta* 的分布在湿度适中、较大的岩石上面，不受人为干扰的影响。粉芽石黄衣 *X.sorediata* 的分布比较广泛，对栖息地环境因子的要求不高。从 CCA 排序图可知，在乌鲁木齐县石人沟山区岩面生地衣的分布与坡度、坡向、光照强度、岩石 pH 值和湿度等环境因子有关。其中，对于岩面生地衣分布影响最大的是坡度、坡向，其次为光照强度、湿度和岩石 pH 值。人为干扰、岩石大小对地衣物种分布的影响不显著。

4 讨论

本研究中国新疆乌鲁木齐县石人沟山区的 27 种岩面生地衣的典范对应分析结果表明，研究地区岩面生地衣的物种分布主要与岩石的坡度、坡向、光照强度、湿度等因素有关。通过研究我们发现，在石人沟山区地衣体内有共生绿藻的暗裂牙黑蜈蚣衣、蓝灰蜈蚣衣、粉盘裂片茶渍、*A.calcarea*、北平茶渍、亚洲平茶渍、托敏氏褐梅等种类分布在光照较弱，较潮湿的岩石的北面下面部位。而包含球形绿藻的被膜微孢衣、丛生微孢衣、疣微孢衣、油黄茶渍、破小网衣、短绒皮果衣、墙茶渍等种类分布在光照较强，干旱的岩石表面与 Monte（1993）的研究结果相符。从地衣繁殖方式来分析发现，具有粉芽的种类主要分布在岩石的裂缝和岩石侧面等地，免遭粉芽受到雨水的冲刷和强风的破坏，而具有裂芽和子囊盘的种类分布岩石表面区域。另外在放牧活动较频繁的地区，酸性岩石上岩面生地衣的种类较少，盖度较低这主要与家畜的排泄物质导致岩石氮含量增加有关，与前人的研究结果相符（Shukla et al, 2017）。综上所述，在石人沟山区岩石的坡度、坡向导致岩石各部位接受的太阳辐射量从而出现岩石不同部位微环境的湿度、温度、光照强度的变化，同时各部位受到的风力的影响也不同，从而导致了岩面生地衣种类组成及群落物种分布格局的差异。

参考文献:

BRODO IM, 1973. Substrate ecology[M] // Ahmadjihan V,Hale M E. The Lichens. New York and London: Academic Press: 401-441.

CHEN J, HANS-PETER B, 2002. Rock-weathering by lichens in Antarctic: patterns and mechanisms[J]. J Geogr Sci,12(4): 387-396.

DEDUKE C, HALDEN NM, PIERCEY-NORMORE MD, 2016. Comparing element composition of rock substratum with lichen communities and the fecundity of *Arctoparmelia* and *Xanthoparmelia* species[J]. Botany, 94(1):41-51.

ELDRIDGE D J, TOZER M E, 1997. Environmental factors relating to the distribution of terricolous bryophytes and lichens in semi-arid eastern Australia [J]. Bryologist, 100 (1):28-39.

FAVERO-LONGO S E, GAZZANO C, GIRLANDA M, et al, 2011.Physical and chemical deterioration of silicate and carbonate rocks by meristematic microcolonial fungi and endolithic lichens (Chaetothyriomycetidae) [J]. Geomicrobiol J, 28(8): 732-744.

FODOR E, 2015. Analysis of the saxicolous lichen communities in Macin mountains national park[J]. Acta Horti Bot Bucurest , 42(1):67-86.

GUO SL，CHEN HJ，WANG F et al，2002. DCCA on the relationship between the Main Tree species with their environment in Jinhua Mountain， Zhejiang Province[J]. J East China Nor Univ (Nat Sci Ed)，63 (1)：96-103. [郭水良，陈建华，王芬，等，2002. 金华山树种分布与环境的除趋势典范对应分析[J]. 华东师范大学学报(自然科学版)，63 (1)：96-103.]

JOHN E A, 1990. Fine scale patterning of species distributions in a saxicolous lichen community

at Jonas Rockslide, Canadian Rocky Mountains[J].Ecography,13 (3):187-194.
JOHN E, DALE MRT, 1990. Environmental correlates of species distributions in a saxicolous lichen community[J].J Veg Sci,1 (3):385-392.
KUMAR J, KHARE R, RAI H, et al, 2012. Diversity of lichens along altitudinal and land use gradients in the Trans Himalayan cold desert of Ladakh[J]. J Nat Sci, 10 (4): 1-9.
KUMAR J, RAI H, KHARE R, UPRETI DK,et al,2014. Elevation controls of lichen communities in Zahskar valley, Ladakh, a Trans Himalayan cold desert[J]. Trop Plant Res, 1 (2): 48-54.
MACDONALD A M, LUNDHOLM J T, CLAYDEN S R, 2011. Saxicolous lichens on a Nova Scotian Coastal Barren[J]. NE Naturalist, 18(4):475-488.
MONTE M, 1993.The influence of environmental conditions on the reproduction and distribution of epilithic lichens[J]. Aerobiologia, 9(2/3): 169-179.
RAJAKARUNA N, KNUDSEN K, FRYDAY AM, et al, 2012. Investigation of the importance of rock chemistry for saxicolous lichen communities of the New Idria serpentinite mass, San Benito County, California,USA[J]. The Lichenologist,44(5): 695-714.
SHIMIZU A, 2004. Community structure of lichens in the volcanic highlands of Mt. Tokachi, Hokkaido, Japan[J]. The Bryologist,107(2): 141-151.
SHUKLA V, BAJPAI R, SEMWAL M, et al, 2017. Influence of chemical diversity in determining lichen communities structure along an altitudinal gradient in the Chopta Tungnath,Western Himalaya[J]. Int J Plant and Environ, 3(1): 7-13.
TEMINA M, KIDRON G J, 2015.The effect of dew on flint and limestone lichen communities in the Negev Desert [J]. Flora, 213 (5): 77-84.
THE COMPILATION COMMITTEE OF LOCAL CHRONICLES OF URUMQI, 2006. Xinjiang Uyghur Autonomous Region Local chronicles series-Urumqi county annals[M].Urumqi: Xinjiang people’s Publishing house. [乌鲁木齐县地方志编写委员会编, 2006.新疆维吾尔自治区地方志丛书-乌鲁木齐县志[M].乌鲁木齐: 新疆人民出版社]
TORBJØRG B，2003. The influence of environmental factors on the spatial distribution of saxicolous lichens in a Norwegian coastal community[J]. J Veg Sci, 14 (4): 524-525.
TUMUR A，ABBAS A，2009. Saxicolous lichen community structure and characteristics in mountainous area of Southern Urumqi[J]. Mycosystema，28(2)：178-188. [艾尼瓦尔 吐米尔，阿不都拉 阿巴斯，2009.乌鲁木齐南部山区岩面生地衣群落特征的研究[J].菌物学报，28(2)：178-188.]
TUMUR A，ABDULLA A，ABBAS A，2015. Study of the saxicolous lichen community characteristics in Altay two river sources nature reserve[J]. J Arid land Resourc Environ，29(9)：74-79. [艾尼瓦尔 吐米尔， 阿迪力江 阿不都拉，阿不都拉 阿巴斯，2015.新疆阿尔泰山两河源自然保护区岩面生地衣群落特征的研究[J].干旱区资源与环境，29(9)：74-79.]
TUMUR A，ABBAS A，2015. Quantitative classification of saxicolous lichen community in Xinjiang Tomur Peak National Nature Reserve and its correlation with environment[J]. J Plant Resourc Environ， 24(2)：80-87. [艾尼瓦尔 吐米尔，阿不都拉 阿巴斯，2015.新疆托木尔峰国家级自然保护区岩面生地衣群落数量分类及其与环境相关性[J].植物资源与环境学报，24(2)：80-87.]
TUMUR A， XAWKAT S，NAZARBEK G， et al, 2017. Lichen species diversity and community characteristics of Shirengou in Urumqi County，Xinjiang[J]. J Northeast For Univ，24(5) : 49-55. [艾尼瓦尔 吐米尔，夏衣拉 肖开提，Nazarbek Guldan， 等， 2017. 乌鲁木齐县石人沟地衣物种多样性及群落特征[J].东北林业大学学报，24(5)：49-55.]

TUMUR A，MAMUT R， ABBAS A，2018. Community structure characteristics of saxicolous lichens in the Bogda Mountains of Xinjiang,China[J]. Acta Ecol Sin，2018，38(3)：1053-1064.[艾尼瓦尔·吐米尔，热依木·马木提，阿不都拉·阿巴斯，2018.新疆博格达山岩面生地衣群落结构特征[J]. 生态学报，38(3)：1053-1064.]

WERNER R G ,1956. Etudes écologiques sur les lichens des terrains schisteux maritimes[J]. Bull Sci Nancy [N.S], 15 (2):137-152.